

УДК [669.793;669.26]:669.715–194

**А. И. Трудоношин^{1, 2*}, А. А. Слюдова¹, В. А. Лисовский¹,
Е. Л. Прач³**

¹ Вятский государственный университет, г. Киров

² Университет имени Фридриха-Александра в Эрлангене и Нюрнберге,
г. Нюрнберг

³ Технический университет Дармштадта, г. Дармштадт

**Trudonoshyn@yandex.ru*

ВЛИЯНИЕ СКАНДИЯ И ХРОМА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al–Mg–Si–Mn

В работе приводятся данные по изменению механических свойств (твердость, временное сопротивление разрыву, предел текучести, относительно удлинение) базового сплава Al–5,5Mg–2,5Si–0,7Mn при легировании хромом и скандием в литом состоянии и после искусственного старения.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, легирование скандием, хромом, механические свойства, искусственное старение.

O. I. Trudonoshyn, A. A. Slyudova, V. A. Lisovskiy, O. L. Prach

THE EFFECT OF SCANDIUM AND CHROMIUM ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF ALLOYS OF THE Al–Mg–Si–Mn SYSTEM

The article presents data on the change in mechanical properties (hardness, tensile strength, yield strength, relative elongation) during alloying of the Al–5,5Mg–2,5Si–0,7Mn alloy with chromium and scandium in the cast state and after age hardening.

Key words: aluminum alloy, alloying, scandium, chromium, mechanical properties, age hardening.

Дисперсионно твердеющие сплавы системы Al–Mg–Si обладают хорошим соотношением прочности и пластичности, служат

основой для создания новых высокопрочных и сверхлегких алюминиевых сплавов для нужд транспортного сектора [1]. Легирование хромом за счет образования дисперсной фазы в матрице позволяет предотвратить рекристаллизацию в процессе термообработки, повышает коррозионную стойкость и ударную вязкость материала. Легирование скандием существенно повышает механические свойства алюминиевых сплавов: введение 0,2–0,3 % масс. повышает прочность деформируемых алюминиевых сплавов на 100–150 МПа, улучшает их свариваемость и коррозионную стойкость [2; 3]. В исследованиях [4; 5] было установлено, что добавление скандия в Al–Si–Mg и Al–Mg–Si сплавы модифицирует эвтектики Al–Si и Al–Mg₂Si и за счет гетерогенного зарождения алюминия на частицах Al₃Sc измельчает зерно.

Результаты механических испытаний сплавов в литом состоянии показывают, что хром оказывает незначительное влияние на исследуемые свойства, слегка повышая твердость и прочность и понижая относительное удлинение. Это вызвано появлением в структуре интерметаллической фазы Al₇Cr [6]. Легирование скандием увеличивает значения всех исследуемых свойств, включая относительное удлинение.

Старение всех сплавов производили при температурах: 125, 175, 225, 325 °С. Наилучшее сочетание механических свойств базового сплава достигается при температуре старения 175 °С: твердость — 86 НВ, предел текучести (σ_T) — 204 МПа, временное сопротивление разрыву (σ_B) — 315 МПа, относительное удлинение (δ) — 5 %. Сплав, легированный хромом, показывает сопоставимые результаты в диапазоне температур 175–225 °С: 97НВ, σ_T — 196 МПа, σ_B — 311 МПа, δ — 5 %. При температуре 325 °С наблюдается снижение прочностных свойств данных сплавов. Наилучшее сочетание механических свойств сплавов, легированных скандием, наблюдаются при температуре старения 325 °С: 122НВ, σ_T — 265 МПа, σ_B — 387 МПа; δ — 8 %. Значительное повышение твердости и прочности сплавов, легированных скандием, может быть объяснено образованием нанодисперсных включений Al₃Sc, что хорошо согласуется с данными [6; 7].

Литература

1. Improvement of the high-pressure die casting alloy Al-5.7Mg-2.6Si-0.7Mn with Zn addition / O. Trudonoshyn [et al.] // Materials Characterization. 2019. V. 158. P. 1–12.
2. Zakharov V. V., Fisenko I. A. Alloying Aluminum Alloys with Scandium // Metal Science and Heat Treatment. 2017. V. 59. P. 278–284.

3. Royset J., Royse J. Scandium in Aluminium alloys overview: Physical Metallurgy, Properties and applications // *Metals Science and Technology*. 2007. V. 25. P. 11–21.
4. Patakham U., Kajornchaiyakul J., Limmaneevichitr C. Grain refinement mechanism in an Al–Si–Mg alloy with scandium // *Journal of Alloys and Compounds*. 2012. V. 542. P. 177–186.
5. Trudonoshyn O., Prach O. Multistep Nucleation And Multi-Modification Effect Of Sc In Hypoeutectic Al–Mg–Si Alloys // *Heliyon*. 2019. V. 5. P. 1–12.
6. Effect of Zr, Cr and Sc on the Al–Mg–Si–Mn high-pressure die casting alloys / O. Prach [et al.] // *Materials Science and Engineering*. 2019. V. 759. P. 603–612.
7. Precipitation evolution in Al–0.1Sc, Al–0.1Zr and Al–0.1Sc–0.1Zr (at. %) alloys during isochronal aging / K. E. Knipling, R. A. Karnesky, C. P. Lee [et al.] // *Acta Materialia*. 2010. V. 58. P. 5184–5195.